生質柴油的發展與推動

林昀輝、吳佩芬、盧文章、李宏台

工業技術研究院能源與環境研究所

摘　要

生質柴油兼具環境友善、潔淨能源與分散能源供應等優點，是柴油的最佳替代燃料。本文中將介紹各種生質柴油的原料，除了常見的陸生油脂作物 (包括大豆、油菜、向日葵等) 之外，也將介紹水生油脂作物-微藻，並分析其化學組成及產量，評估做為生質柴油原料之可行性；在轉化技術方面，轉酯化技術是目前的主要生產程序，本文中將介紹幾種常見的技術 (包括化學與生物製程) 並比較其優缺點；文中最後則介紹臺灣近幾年來推動使用生質柴油的歷程及政府目前推動策略與方向。

前　言

在人類發現便宜的石化燃料之前，能量的需求主要依賴生質物供應，在 19 世紀發現原油後，由於提供大量而便宜的液態燃料，有助於全球工業化發展及提高生活品質。然而隨著快速而大量使用原油，蘊藏量的限制與環境污染問題，開發具有經濟與能源效益，並可以永續生產燃料的技術成為目前重要的課題之一，而生質物正是目前唯一符合此一要求的有機碳的來源。生質柴油是利用動植物油脂為原料，所生產的一種可以替代石化柴油的生質燃料，目前技術成熟且應用廣泛的生質燃料之一，具環境友善、潔淨能源與分散能源供應等優點。

生質柴油的主要原料是動植物油脂，各國所使用的原料依各國農業發展息息相關，例如在歐洲地區菜籽油是主要原料，美國則以大豆油為原料，在東南亞熱帶低區則棕櫚油是主要原料，然而隨著生質柴油日益普及使用量倍增，原料供應的問題也開始受到重視，為了避免與食用油形成競爭，利用不可食用的油脂 (包括回收油) 是不可避免的，因此開發新的料源與新的轉化技術成為未來生質柴油發展的重要關鍵。

生質柴油之原料

生質柴油的原料來自油脂，其來源包括植物或動物，是一種由甘油與三個脂肪酸所形成不溶於水的物質，其通常用於食用或食物料理，此外也用於潤滑劑、肥皂製作、清潔劑、化妝品或化學原料，根據 Peterson, 2005 的報告，目前約有超過 350 種已知的油脂生產作物，其中向日葵、紅花 (safflower)、大豆、棉花籽、油菜籽、玉米油及花生等較具潛力。表一中列

出幾種油脂作物，一般而言其種籽年產量約 1000-2000 公斤/公頃，其生產潛力可達 2500-6000 公斤/公頃，其中例外的是 Chinese tallow tree，由於生長快速，產量可超過 12000 公斤/公頃 （Klass, 1998）。若以植物油所含能量約 40 MJ/公斤計算，則表二中所列之植物每公頃每年約可生產 6.8-13.6 桶油當量 (barrels of oil energy equivalent)。

表一、油脂作物種籽與油的年產量

		種籽產量		油脂產量			
		平均	潛力	平均		潛力	
俗名	學名	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	L/ha	Kg/ha	L/ha
蓖麻	*Ricinus communis*	950	3810	428	449	1504	1590
烏臼	*Sapiumse biferum*	12553	-	5548	-	-	6270
玉米	*Zea mays*	-	5940	-	-	596	650
油菜	*Brasica napus*	-	2690	-	-	1074	1220
紅花	*Carthamus tinctorius*	1676	2470	553	599	888	940
大豆	*Glycine max*	1980	3360	354	383	591	650
向日葵	*Helianthusannuus*	1325	2470	530	571	986	1030

摘錄自 Klass, 1998

目前生產生質柴油的原料主要依各地區作物種植情形而定，例如歐洲地區以油菜和向日葵為主，熱帶地區則以棕櫚油，美國則以大豆及動物油脂為主，所有的三酸甘油酯在轉化後會生成甘油與三個脂肪酸甲酯，脂肪酸的碳鏈與雙鍵的含量隨著原料而有所變動，表二為幾種常做為生質柴油原料的化學組成，其中以雙鍵的數目對於生質柴油的性質影響最大，雙鍵越少則其越穩定，但是也越容易凝固影響低溫環境的使用，相反的雙鍵越多則穩定性較差，但是不容易凝固。國內現行的生質柴油國家標準中，訂定有碘價 (反應雙鍵數目)、氧化穩定性、冷濾點等標準，目前之規範可說是全球最嚴格之標準，其用意即在使消費者能有最高品質的生質柴油可使用，相信也能提高國人使用生質柴油之信心。然而如此嚴格之標準，卻會造成限制原料來源之負面影響，例如大豆油之碘價即超過現行標準，而棕櫚油與國內最容易取得的回收油往往也再冷濾點等項目無法符合，因此廠商在生產的同時，需要根據各種油脂的性質進行調配，甚至需要添加抗凍劑、氧化穩定性增進劑或 16 烷值增進劑等添加劑，因而提高生質柴油的生產成本。

表二、各種油脂的化學組成

	C12:0 (wt%)	C14:0 (wt%)	C16:0 (wt%)	C18:0 (wt%)	C18:1 (wt%)	C18:2 (wt%)	C18:3 (wt%)	other FA (wt%)	Iodine value
棕櫚油	0.5	1-2	40-48	4-5	37-46	9-11	0.3	C20:0 0.3	53-57
菜籽油 低芥子酸	-	-	3-5	1-2	55-65	20-26	8-10	C20:1 1 C20:1 7-9	96-117
菜籽油 高芥子酸	-	-	2-4	1-2	14-18	13	8-10	C22:1 45-52 C24:1 1	98-108
大豆油	-	-	11-12	3-5	23-25	52-56	6-8		121-143
葵花油	-	-	6	3-5	17-22	67-74		C22:0 0.6	127-142
葵花油 高油酸	-	-	4	4	78				85
回收油	0.5	1-3	13-25	5-12	43-52	7-22	0.5-3	C16:0 0-4 C20:1 1 C22:1 0.5	80-91

微藻是另外一個三酸甘油酯的來源，藻細胞主要包括碳水化合物、蛋白質及脂肪三種成分，藻類依分類不同貯存物質也不一樣，褐藻細胞之貯存物質以碳水化合物為主，紅藻及綠藻為葡萄糖聚合物 (glucose polymer)，甲藻多為澱粉，而矽藻常以脂肪為貯存物質 （Tortora et al., 2005）。雖然一般藻類細胞中均含有脂肪，不同藻種其脂肪含量有明顯之差異，表三、為藻類脂肪含量及脂質分佈，在脂肪含量較多的金藻綱及綠藻綱中，某些藻種油脂含量可達 70%，隱藻綱、黃藻綱及裸藻綱是屬於脂肪含量較少之藻種，普遍低於 20%（Borowitzka, 1988）。總脂質中包括中性脂質、醣脂質及磷脂質三部分，一般中性脂質又稱甘油脂，為含量最多的脂質，藍綠藻綱、矽藻綱及綠藻綱之中性脂質較多，最高可達總脂肪的 66%。不同藻種之碳水化合物約佔 0.0035 -2.8%，通常低於 5%，但 *Botryococcus braunii* 高達 39.0%。表四彙集油脂含量在 15 %以上之微藻，其油脂含量、生態特性與分類，其顯示微藻細胞油脂含量分佈於 14 - 72%共有 33 株，其中淡水藻種佔 21 株，某些綠藻綱的藻種油脂含量可達 72%。一般而言以綠藻綱含油脂量較高，而隱藻與裸藻的油脂含量較低。

表三、藻類脂肪含量及脂質分佈

	脂肪 (乾重%)	總脂肪(%) 中性脂質	醣脂質	磷脂質	碳水化合物 (乾重%)
藍綠藻綱	2-23	11-68	12-41	16-50	0.005-0.6
金藻綱	12-72				
定鞭藻綱	5-48				
隱藻綱	3-17				0.0035
黃藻綱	6-16	44	17	39	2.8
紅藻綱		41-58	42-59		
甲藻綱	5-36				0.004-0.2
矽藻綱	1-39	14-60	13-44	10-47	0.2-0.7
綠藻綱	1-70	21-66	6-62	17-53	0.03-1.0 (39.0)[a]
裸藻綱	17				

摘錄自 Borowitzka, 1988

a: *Botryococcus braunii* 碳水化合物（乾重%）含量高

表四、含油脂量較高之微藻 (吳，2006)

藻種	生態習性	油脂含量 (% w/w)	分類
Botryococcus braunii	淡水	53-70	綠藻綱、小球藻科
Chlorella spp.	淡水	15-26	綠藻綱、小球藻科
Chlorella emersonii	淡水	29-63(-N) 25-34(-N)*	綠藻綱、小球藻科
Chlorella minutissima	淡水	23	綠藻綱、小球藻科
Chlorella protothecoides	淡水	18-58	綠藻綱、小球藻科
Chlorella pyrenoidosa	淡水	36,72	綠藻綱、小球藻科
Chlorella sorokiniana	淡水	20-22(-N)	綠藻綱、小球藻科
Chlorella vulgaris	淡水	40-58(-N)*	綠藻綱、小球藻科
Dunaliella bardawil (= *D. salina*)	海水	47	綠藻綱、杜氏藻科
Dunaliella primolecta	海水	54	綠藻綱、杜氏藻科
Dunaliella tertiolecta	海水	20.5	綠藻綱、杜氏藻科
Nannochloropsis sp.	海水	20-48	綠藻綱、擬球藻
Neochloris oleabundans	海水	35-54	綠藻綱
Radiosphaera negevensis	沙漠土壤	43	綠藻綱
Scenedesmus spp.	淡水	26	綠藻綱、柵藻科
Scenedesmus acutus	淡水	26	綠藻綱、柵藻科
Scenedesmus dimorphus	淡水	16-40	綠藻綱、柵藻科
Scenedesmus obliquus	淡水	49	綠藻綱、柵藻科
Scotiella sp.	淡水	16-35	綠藻綱、螺翼藻屬
Oocystis polymorpha	淡水	35	綠藻綱、卵囊藻科
Ourococcus sp.	淡水	50	綠藻綱
Protosiphon botryoides	淡水	37	綠藻綱
Biddulphia aurita	海水	40	矽藻綱、盒形藻科
Navicula pelliculosa	淡水	22-45	矽藻綱、舟形藻科
Nitzschia palea	淡水	40	矽藻綱、菱形藻科
Chroomonas salina	海水	25	隱藻門
Monalanthus salina	海水	70	金藻綱
Ochromonas danica	淡水	39-71	金藻綱、棕鞭藻科
Porphyridium cruentum	海水	14-22	紅藻綱、紫球藻科
Chrysochromulina spp.	海水	33-48	定鞭藻綱
Prymnesium parvum	海水	22-38	定鞭藻綱
Euglena gracilis	淡水	14-20	裸藻門、裸藻科
Peridinium cinctum	淡水	36	渦鞭毛藻綱、多甲藻科

(-N)：低氮源培養基　*：管型光生物反應器

資料來源：Ratledge, 1989；Kosaric & Velikonja, 1995；Illman et al., 2000；Scragg et al., 2002。

利用微藻做為原料具有下列優點：1.微藻生長速度快；2.太陽能利用用率高 (可達 10%以上)；3.可利用不適合陸生作物生長的土地。美國能源部在 1978 年至 1996 年有一個開發藻類生產運輸燃料的計畫，其報告指出在計畫中蒐集超過 3000 株微藻，其中約 300 株 (大部分為綠藻和矽藻) 保存在夏威夷大學 （Sheehan et al., 1998），然而受限於生產成本，因此在 1996 年時美國能源部停止了此一計畫。

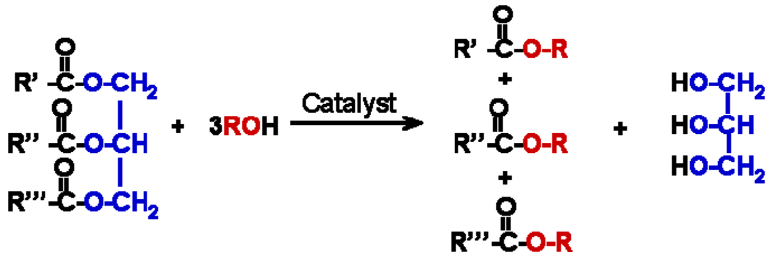
利用藻類生產油脂產量預估可達 72,000 公升/公頃-年，其潛力更可達 130,000 公升/公頃-年 （Hill and Feinberg, 1984），亦即藻類的油脂生產速度比陸生植物快 45-220 倍。目前利用微藻的主要限制在於生產成本，表 2.5 為在美國估算 400 公頃大型微藻養殖的生產成本，其中假設的情境分別為藻類生長速度為 112 與 224 公噸/公頃-年，計算所獲得藻體的成本為 273 與 185 美元/公噸，此一假價格遠高於一般估算木質纖維素的價格 (約 40 美元/公噸)，根據其分析二氧化碳的成本約佔整體成本的 20-30%，若僅就操作成本來看，二氧化碳的成本約佔 10%，因此若能利用低成本的二氧化碳 (如電廠或工廠的所產生的廢氣)，將可有效降低成本，此外根據其分析顯示，不同的工程設計對於藻類養殖的成本影響不大，未來對藻類的研究工作應著重生物學的議題，而有關於藻體培養的限制因素主要包括水、二氧化碳和陽光的供應和平地的取得，而發展低成本的採收技術應也有助於降低藻體生產成本。

生質柴油轉化技術

在二十世紀初，柴油引擎第一次被展示的時候，是以植物油作為燃料，而非現今所使用的石化柴油，但植物油要應用在柴油引擎上，有許多要克服的問題。例如植物油的黏度太高，含有酸和游離脂肪酸，而且在貯存及燃燒時會有膠狀物或積碳現象的發生（Ma and Hanna, 1999; Srivastava and Prasad, 2000）。為了克服上述的問題，使得植物油可以應用在柴油引擎上，需先對植物油加以處理，處理的方法方法包括：裂解法、微乳化法和轉酯化法。裂解法原理是利用熱能使植物油在高溫下再經由空氣或氮氣的高壓噴出，造成植物油裂解。經由裂解法，植物油所產生的產物有烷類、烯類、雙鍵烯類、芳香環類、有機酸類等。產物的組成隨著裂解的植物油種類不同而有很大差異。經由裂解法處理後，雖然可得到較低黏度及較高十六烷值的植物油，但是裂解法出來的產物卻有不合標準灰分，碳殘渣，流動點 (pour point) 等，而且經由裂解法處理後的油品，性質雖類似於石化柴油，然而也使得此油品所含的氧被去除了，造成一般含氧石化柴油特有的環境益處也被去除 （Ma

and Hanna, 1999）。

利用轉酯化技術是目前油脂主要的利用方式其轉化反應如圖一，生質柴油目前也專指其所生成的脂肪單酯 (以脂肪酸甲酯為主)，轉酯化反應是利用觸媒將三酸甘油酯 (油脂的主要成分) 與醇類反應生成直鏈的脂肪酸單酯，所使用的觸媒可包括鹼觸媒、酸觸媒與生物觸媒。利用強鹼催化的製程是目前主要的商業化製程，可於很短的反應時間 (1 小時) 下得到高的生質柴油轉化率 (98%)，然而此程序所需之油脂料源品質較高，當含有游離脂肪酸或水分時，容易會有皂化物生成，除了影響後續分離程序及生質柴油之品質，也會消耗鹼觸媒降低催化效率，Ma 等人 1998 的研究指出脂肪酸的含量最好能低於 0.5%。

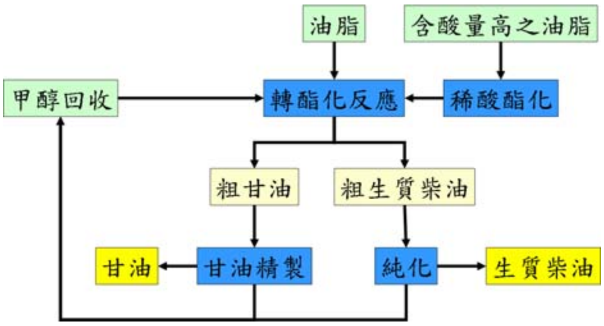


圖一、生質柴油轉化反應方程式

酸催化程序是另一種生質柴油的生產方式，其對於游離脂肪酸的甲基酯化具有反應速度快和轉化率高的優點，但是對油脂的轉酯化的效率遠低於鹼催化程序，通常需要較高溫度與較長的反應時間，因此通常酸製程使用於含有較高游離脂肪酸或水分的原料。此外，有研究指出可以利用酸化醇 (acidified alcohol) 進行同步轉酯化反應，亦即萃取與轉酯化在同一步進行，所添加的醇既是萃取溶劑又是轉酯化的反應試劑，根據 Harrington 與 D’Arcy-Evans （1985）的研究指出，利用同步轉酯化的方法由葵花油生產生質柴油的產率明顯高於傳統以預萃取油進行反應的產率，Özgül 和 Türkay（1993）也利用此一優點進行不同醇類對米糠油進行同步轉酯化研究。Zullaikah 等人（2005）則是開發二階段酸催化製程，由於米糠油中含有高濃度游離脂肪酸，其先在 60 ℃進行酯化反應，將大部分脂肪酸酯化成甲基酯(生質柴油)，剩餘的三酸甘油酯再以 100 ℃進行轉酯化，其結果顯示以此二階段程序可以在 8 小時內轉化率達 98%。

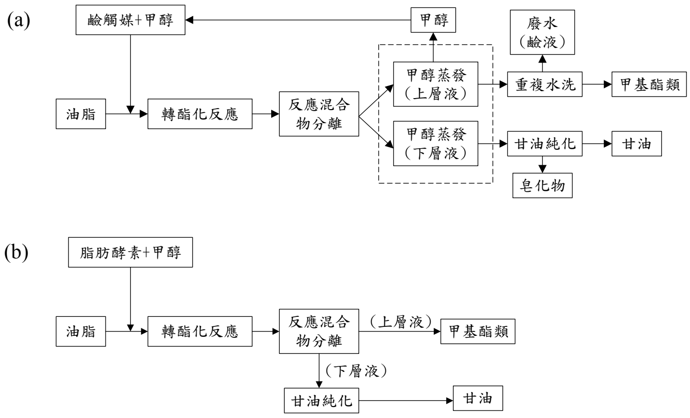
此外，研發結合酸催化與鹼催化兩種程序，先利用酸催化將廢食用油中的游離脂肪酸預酯化，再進行鹼催化程序將三酸甘油酯轉酯化生成生質柴油，如此不但具有可以避免游離脂肪酸對鹼製程的干擾功用，更可結合酸製程與鹼製程的優點，有效提高廢食用油的利用率，其流程圖如圖二，詹等人

（2006） 的報告指出，利用此一程序，第一階段可以將游離脂肪酸酯化成甲基酯 (降低回收食用油或高酸油的酸價)，第二階段則可將油脂轉化成生質柴油，整體反應時間在小於 2 小時的情況下，轉化率可達約 90%。此一製造程序對於臺灣地區以廢食用油為主要製造原料具有重要角色，此外，此一程序也可應用於酸化的廢棕櫚油或米糠油等含脂肪酸高的油脂，如此一來可更進一步增加原料使用範圍。



圖二、二階段轉酯化產製生質柴油流程

利用生物觸媒進行生質柴油的轉化可解決利用化學製程所產生之問題，而生物觸媒轉酯化方法也是針對以廢食用油為原料的方法之一，其對於游離脂肪酸有可直接轉化成甲基酯 (生質柴油)，而不會有副產物生成，此為生物轉化優於化學轉化之處，此外生物觸媒製程也同時具有條件溫和、醇用量少、低污染物排放等優點，鹼觸媒催化製程與生物觸媒催化製程的比較如圖三，其優缺點比較如表五所示。但目前主要挑戰包括：1.生物觸媒反應速率較低。2.甲醇及乙醇等短鏈醇對酵素有抑制作用，由於目前脂肪酵素對長鏈脂肪醇的酯化或轉酯化有效，而對短鏈脂肪醇如甲醇或乙醇等轉化率低。此外短鏈醇對酵素有一定毒性，使得酵素的使用壽命短（Chen and Wu, 2003）。3.副產物甘油會對反應形成抑制，而且甘油對固定化酵素有毒性，使固定化酵素使用壽命縮短（Xu et al., 2003）。



圖三、鹼製程與生物製程生產生質柴油之比較

由於純酵素的製作程序複雜且成本高，雖然利用固定化技術可以增加穩定性延長壽命進而降低成本，但是，由於回收廢食用油的成分複雜，對於酵素的抑制與造成失活的作用較難預估，因此需要一種更便宜而簡單的生物觸媒製備技術，在日本，由於其也面臨需要以廢食用油為原料的問題，因此對此也有相關技術開發，神戶大學 Fukuda 教授等人發出全細胞生物觸媒，其可省去酵素純化和固定化的程序，而使生物觸媒的成本更進一步降低；全細胞生物觸媒固定化的優點：1.不需對細胞進行繁複處理；2.載體不需滅菌；3.BSPs 對基質和產物有良好的質傳速率；4.載體可重複使用；5.載體可抵抗機械剪力；6.生物反應器容易放大；7.成本較其他胞外酵素製程低 (Fukuda et al., 2001)。

表五、利用鹼催化與生物觸媒催化生產生質柴油之比較（Fukuda et al., 2001）

製程 項目	鹼製程	酵素轉化製程	備註
反應溫度	60~70℃	30~40℃	溫度高低表額外加入能源多寡
原料中之游離脂肪酸	形成皂化物	形成甲基酯類	NaOH 會和脂肪酸形成皂化物
原料中含有水份	干擾反應	無影響	鹼製程反應中含有水份會形成大結塊，對後續處理亦造成負面影響
甲基酯類產率	普通	較高	產率指單位原料轉化為甲基酯的比率
甘油回收	困難	容易	甘油為附加產品，可增加額外收入
甲基酯類純化	重複水洗	無	水洗造成廢水排放，需額外廢水處理
觸媒成本	便宜	相當昂貴	增加酵素使用時間以減少成本

在實際利用生物轉化時，通常甲醇需要分次添加以避免甲醇對生物觸媒造成抑制，利用酵素催化反應製程之反應時間雖然是生物轉化中較快的，但完成生質柴油轉化需 36 小時，而其產率也只達到 93%（Watanabe et al., 2000），利用全細胞進行反應雖然具有生物觸媒成本較低的優點，但是轉化時間需達 72 小時，轉化率也僅 80% （Ban et al., 2002）。因此若是光靠生物觸媒進行轉酯化，可能無法與現有商業化製程競爭。其轉化率會受限於幾個因素而使轉化率不高，例如轉酯化反應是一個平衡反應，利用生物轉化時無法添加大量甲醇迫使反應朝產物方向進行，此外甘油也容易吸附在生物觸媒表面造成生物觸媒活性降低。一般而言，雖然利用生物觸媒進行生質柴油的生產具有許多優點，然而其受到的限制有不少，例如生物觸媒的成本、反應速度較化學催化慢也無法添加較多甲醇使的反應率提高，因此未來要能商業化有待進一步研究與發展。

臺灣應用生質柴油之推動

由於生質柴油使用上可直接添加或以任何比例與傳統化石柴油混合使用，無需修改引擎系統，在此優勢下，經由各國相關政策法令及獎勵優惠措施的推動，自 1999 年後便快速大幅的成長。根據統計，全球生質柴油之產能由 2004/05 年的 300 萬公秉提升為 2005/06 年的 380 萬公秉 (如表六所示)，成長幅度高達 27%，其中歐盟地區為最主要的市場。德國為生質柴油推廣最為成功的國家，截至 2005 年德國境內已有超過 1,900 座之加油站販售生質柴油，實際銷售量亦達 150 萬噸以上。而透過稅賦減免的優惠，不僅市售之生質柴油價格低於化石柴油 (價差約 0.14€/L～0.2€/L) ，在此價差誘因下，大型貨車之添加使用量已約占德國生質柴油產量的七成 （陳等，2006）。

表六、全球生質柴油產能分佈 (單位：萬公秉)

國家	2004/05	2005/06
德國	170	200
法國	40	50
義大利	40	20
英國	0	20
美國	40	80
其他地區	10	10
合計	300	380

在國內，民國 89 年由美國黃豆協會正式引進，並委由裕益汽車與工研院能環所進行生質柴油相關評估與道路測試。有鑒於生質柴油對於能源的效益，經濟部能源局從民國 92 年起，委託工研院能環所執行「生物能源技術應用研究計畫」，除開發生質柴油鹼製程生產技術外，並經公開程序與臺灣新日化公司共同合作，於嘉義民雄工業區內設立臺灣第一座生質柴油示範系統，並於民國 93 年 10 月正式啟用商轉營運，開啟了國內業界廠商投入生質柴油產業發展的契機。在推動應用方面，行政院環保署自 93 年度下半年起，陸續在臺北市、高雄市等 16 個縣市，推動「生質柴油道路試行工作計畫」，推廣生質柴油於柴油車輛之使用 (包括垃圾車、資源回收車或是縣市公車)。

經濟部於 95 年 10 月 11 日第 3010 次院會提出「發展綠色能源—推動生質燃料執行方案」簡報，其中規劃以發展綠色自產能源為主要策略，結合能源、農業、環保、產業共同發展，採循序漸進方式展開。經濟部長陳瑞隆指

出，這項計畫全面實施後，其發揮的效益包括四大面向。首先，在能源方面，可提升國內自產能源比例；在農業方面，則可活用休耕農地、穩定農村經營，在環保方面，可減少 CO_2 、廢棄物等對環境的衝擊，同時，在產業面上，還可引領生質燃料產業發展，落實本土技術開發。根據經濟部規劃，運輸型生質燃料之推動可分生質柴油與生質酒精兩方面進行，在生質柴油方面，第一階段的推動能源作物綠色公車計畫已於今 (96) 年 1 月開始，陸續已有高雄市公車與嘉義縣公車申請使用，希望藉由鼓勵公營大眾交通運輸車輛添加使用生質柴油，以期減少都會地區溫室氣體及空氣污染物排放。第二階段的推動綠色城鄉 (Green County) 計畫也已於 96 年 7 月 27 日啟動，目前在桃園縣及嘉義縣市地區的加油站均可以買到生質柴油 B1，此計畫希望藉由政府相關單位資源之整合應用，結合行政院農業委員會推廣休耕農地種植能源作物政策措施，以特定示範區域內生質柴油整體產銷供應體系之建構，作為全面推廣實施 B1 油品之參考依據。第三階段則預計在 97 年全面實施 B1，經濟部能源局將經由生質柴油國家標準、車用柴油國家標準 (增列添加生質柴油之上下限比例)、石油管理法的增/修訂，建構全面實施 B1 油品的法源依據。第四階段則預計於 2010 年全面實施 B2，藉由發展廢食用油前處理技術，擴大適用料源，提升廢食用油回收體係市場量能；及提升能源作物單位面積產量降低料源成本方；配合相關賦稅減免獎勵優惠 (例如 B1 油品貨物稅、空污費之減免) 之研擬，輔導業界投資設廠，提升生質柴油產能。經濟部將依全面 B1 之模式，於 2010 年將摻添比例提升至 2%，屆時生質柴油使用量將達到每年 10 萬公秉左右。

結　語

推動生質燃料作為替代之車用燃料已是全球發展之趨勢，不僅可減緩化石燃料之消費並降低溫室效應氣體排放。然而在臺灣受限於土地面積，無法如其他國家大規模種植能源作物，因此，在臺灣推動生質柴油，開發能利用本土多元料源之技術與利用豐富之海洋資源應為最重要之研究課題。國內目前在經濟部能源局的大力推動之下，目前也擬定了生質燃料 (生質柴油和生質酒精) 推動計畫，由點 (示範車隊)、線 (區域示範計畫)、面 (全面實施) 循序漸進的方式推動，未來國人將陸續可以在各地加油站看到添加生質燃料的汽、柴油，初期雖然添加比例不高，但這是臺灣推動生質燃料的第一步，未來希望藉由技術發展與增加供應量，讓生質燃料的使用能在臺灣生根且蓬勃發展。

誌　謝

承蒙經濟部能源局資助「生質燃料技術開發與推廣四年計畫」，方能順利完成本文，謹此致謝。

參考文獻

吳佩芬，2006，利用本土淡水藻類產製生質柴油之可行性評估，逢甲大學環境工程與科學學系碩士論文。

陳漢炯、李宏台、盧文章。民國 95 年。動手種出生質柴油田。科學月刊，440，584-588。

詹議翔、林昀輝、李宏台、盧文章。2006。國內生質柴油技術發展。In 國內生質燃料及能源作物研究與應用，李宏台主編。中華生質能源學會，臺灣新竹。第 101-116 頁。

Ban, K., Hama, S., Nishizuka, K., Kaieeda, M., Matsumoto, T., Kondo, A., Noda, H. and Fukuda, H. "Repeated Use of Whole-cell Biocatalysts Immobilized within Biomass Support Particles for Biodiesel Fuel Production," Journal of Molecular Catalysis B: Enzyme, 17, 157-165 (2002).

Borowitzka, M. A., 1988, Fats, oils and hydrocarbons in Microalgal biotechnology, Edited by Borowitzka, M. A. & Borowitz

ka, L. J., Cambridge University Press, New York.

Chen, J. W. and Wu, W. T., 2003. "Regeneration of Immobilized Candida Antarctica Lipase for Transesterification," Journal of Bioscience and Bioengineering, 95, 466-469.

Fukuda, H., Kondo, A. and Noda, H., 2001. "Review: Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils," Journal of Bioscience and Bioengineering, 92, 405-416.

Harrington, K.J., and D'Arcy-Evans, C., 1985. A comparison of conventional and in situ methods of transesterification of seed oil from a series of sunflower cultivars. Journal of the American Oil Chemists' Society, 62, 1009-1013.

Hill, A.M., Feinberg, D.A., 1984. Fuel products from Microalage; Report No. SETI/TP-21-2348; National Renewable Energy Laboratory; Golden. CO.

Illman, A. M., Scragg, A. H. & Shales, S. W., 2000. Increase in *Chlorella* strains calorific values when grown in low nitrogen medium, Enzyme Microbial Technology, 27, 631-635.

Klass, D.L., 1998. Biomass for Renewable Energy, Fuels and Chemicals; Academic Press: San Diego,

Kosaric, N. & Velikonja, J., 1995. Liquid & gaseous fuels from biotechnology: challenge and opportunities, FEMS Microbiology Reviews 16,111-142.

Ma, F., Clements, L.D., and Hanna, M.A., 1998. Biodiesel fuel from animal fat.

Ancillary studies on transesterification of beef tallow. Industrial & Engineering Chemistry Research. 37, 3768-3771.

Ma, F., Hanna M.A., 1999. Biodiesel production: A review. Bioresource Technology, 70, 1-15.

Özgül, S., and Türkay, S., 1993. In situ esterification of rice bran oil with methanol and ethanol. Journal of the American Oil Chemists' Society, 70, 145-147.

Peterson, C.L., 2005. In The Biodiesel Handbook; Knothe, G., Krahl, J. Gerpen, J.V., Eds.; AOCS Press: Champaign, Illinois

Ratledge, C., 1989. Biotechnology of oil and fats, In Microbial Lipids, Vol. 2, Edited by Ratledge, C. & Wilkinson, S. G., Academic Press, London.

Scragg, A. H., Spiller, L. & Morrison, J., 2003. The effect of 2,4-dichlorophenol on the microalga *Chlorella* VT-1, Enzyme Microbial Technology, 32(5), 616-622.

Sheehan, J., Dunahay, T., Benemann,J., Roessler,P., 1998. A Look Back at the U.S. Department of Energy's Aquatic Species Program- Biodiesel from Algae; Report No. NREL/TP-580-24190; National Renewable Energy Laboratory: Golden, CO, 1998; http://www.osti.gov/bridge.

Srivastava, A., Prasad, R., 2000. Triglycerides-based diesel fuels. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 4, 111-133.

Tortora, C. K., Lau, P. S., Tam, N. F. Y. & Wong, Y.S., 1999, Biodegradation capacity of tributyltin by two Chlorella species, Environmental Pollution , 105, 289-297.

Watanabe, Y., Shimada, Y., Sugihara, A., Honda, H., Fukuda, H. and Tominaga, Y. "Continuous Production of Biodiesel Fuel from Vegetable Oil Using Immobilized Candida Antarctica Lipase," Journal of the American Oil Chemists' Society, 77, 355-360 (2000).

Xu, Y., Du, W. Liu, D. and Zeng, J., 2003. "A Novel Enzymatic Route for Biodiesel Production from Renewable Oils in a Solvent-free Medium," Biotechnology Letters, 25, 1239–1241.

Zullaikah, S., Lai, C.C., Vali, S.R., Ju, Y.H., 2005. A two step acid catalyzed process for the production of biodiesel from rice bran oil. Bioresource Technology, 96, 1889-1896.